

整理番号

発送番号 009826
発送日 平成21年 1月27日 頁: 1/ 11

引用非特許文献

審判請求の番号	不服2006- 12852
(特許出願の番号)	(特願2002- 42589)
起案日	平成21年 1月26日
審判長 特許庁審判官	山崎 達也
請求人	インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション 様
復代理人弁理士	正林 真之 様

引用文献2

・

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
取扱いにあたっては、著作権侵害とならないよう十分にご注意ください。

国内学会論文1998-00229-004

Vol. 35 No. 2

情報処理

Feb. 1994



データエンジニアリングの最近の動向

3. 大規模知識ベースシステム†

西田 豊 明竹

1. 大規模知識ベースシステムの研究の動機

1.1 知識ベースシステム

過去 30 年近くにわたって、いわゆるエキスパートシステム—実行可能な形式に整備された専門家の知識に基づく高度な専門的問題解決能力をもつコンピュータソフトウェアの研究開発の努力が続けられてきた^{23), 24)}。我が国でも多くのエキスパートシステムの開発と実用化が行われた^{25), 26)}。エキスパートシステムの開発思想は、人工知能システムの問題解決能力は一般的な問題解決能力によるのではなく、問題領域や問題解決法に関する知識の質と量に依存するという知識庫型である。

知識原理を具体化するために、知識ベースシステムというソフトウェアアーキテクチャが用いられてきた。知識ベースシステムは、問題解決法を知識表現言語によって表現した知識を格納した知識ベースと、その内容を解釈実行する推論エンジンから構成される。初期の研究では、専門家の知識を取り出し、それを知識表現言語で表現して知識ベース化することによって、狭い範囲についてはあるが高い問題解決能力を実現できることが実証された²⁷⁾。

1.2 知識ベースシステムの問題

知識ベースシステムの研究開発・実用化が進められて大規模な知識ベースシステムの開発が行われるようになると、いくつかの問題が顕在化してきた²⁸⁾。

知識獲得のボトルネック 知識ベースシステムを開発するためには、既存の知識ベースシステム構築用ツールの求めているレベルまで、専門家の知

識を分析、抽出、体系化、詳細化、手続化する必要がある。これまでは、専門家にインタビューをすることによって知識を抽出し、それを知識表現言語で表現し、プロトタイプを構築してそれを再び専門家に提示して詳細化・洗練するという知識獲得の作業を繰り返してきたが、それは膨大な労力を要するものであった。

狭さ 初期の知識ベースシステムの開発では、知識獲得が非常に効率の悪いものであったため、デモンストレーション効果のあるシステムを作るためには特定の狭い専門領域に特化せざるを得なかった。そのようなシステムは、設計時に考慮していなかった現象に対して大変もろく、専門家に比べて急激に問題解決能力が低下する傾向があった。

既存システムとの統合の困難さ 初期の知識ベースシステムはどれも既存のデータベースシステム、CAD ツール、リアルタイムシステムなどとの統合を考慮したものではなかったため、基立的な性格が強く、システムとしての有用性を低下させるものであった。

知識メディアとしての弱さ 知識ベースシステムに蓄積される知識は基本的にはコンピュータ主体の問題解決を指向したものであるため、蓄積された知識自体は専門家や作業員にはブラックボックスに近く、蓄積されている知識そのものは役に立たない。また、知識表現言語で記述できない知識やノウハウは放置される傾向があった。そのため、知識ベースシステムは問題解決に必要な知識をほとんど完全に知識ベース化するまでは役に立たない。

方法論の欠如 小規模なプロトタイプ開発と異なり、大規模で実用的な知識ベースシステムの構築には、一定の開発方法論が不可欠である。

† Very Large Scale Knowledge Base Systems by Toyooki NISHIDA (Nara Institute of Science and Technology).
竹 東京先端科学技術大学院大学情報科学研究所

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
取扱いにあたっては、著作権保護とならないよう十分にご注意ください。

国内学会論文1998-00229-004

Vol. 35 No. 2

大規模知識ベースシステム

Feb. 1994

1.3 大規模知識ベースのめざすもの

大規模知識ベースシステムの研究では、上に述べた今日の知識ベースシステムの限界を超えるため、どの領域において知識ベースを構築する場合にも必要になってくる共通の知識を体系化して供給することによって新たに知識獲得すべき知識の量を大幅に削減することをねらっている。

理想的な大規模知識ベースシステムは図-1のように個々の知識ベースシステムに対して設計時または実行時に必要な知識を提供するインフラストラクチャとしての役割を果たす。

大規模知識ベースシステムの研究は、集積指向のアプローチと共有・再利用指向のアプローチの二つに大別できる。集積指向のアプローチでは、標準的な知識表現言語やモデリング言語を既定して、常識的知識や基礎的知識を包括的に収集し、蓄積することに重点を置いている(図-2(a))。一方、共有・再利用指向のアプローチでは異なる方法論や概念化に基づく知識ベースシステムやソフトウェアシステムを協調させるための枠組みの構築に重点を置いている(図-2(b))。

大規模データベースシステムは、定型性の高い大量のデータを蓄積し、効率よく利用するための土台とするための性能面を重視している。大規模データベースシステムは大規模なデータベースシステムと置き換えることができる。これに対して、大規模知識ベースシステムは、定型性が低い大量の知識や問題解決法を蓄積し、広い範囲の応用システムで再利用できるようにするための機能性を重視している。

大規模知識ベースシステムは、広い範囲の方法論に基づく知識をもつばかりでなく、新しく知識ベースシステムを構築するための知識部品ライブラリも提供する知識ベースシステムの母体になっているという点で、知識ベースシステムが単に大規模になったものとは区別される。

2. 集積指向のアプローチ

集積指向のアプローチは、現在の人工知能の技術レベルを進めるのに一番有効な方策は、新しい知識表現法や推論方式の研究ではなく、ほとんどの知識表現法を使って知識の体系を実際に作る

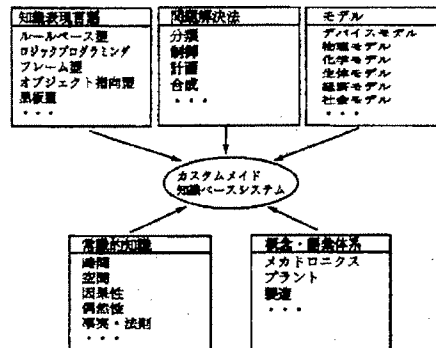


図-1 知識ベースシステムの母体としての大規模知識ベースシステム

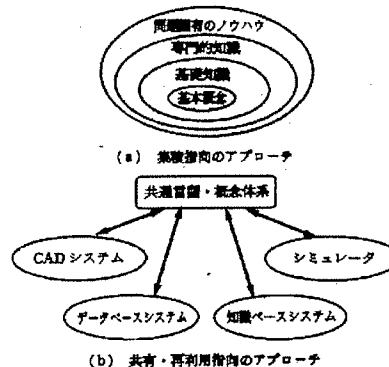


図-2 大規模知識ベースシステムへの二つのアプローチ

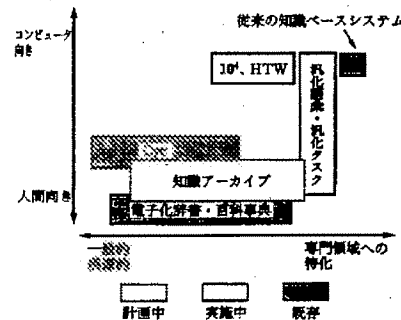


図-3 集積指向のアプローチによるプロジェクト

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
取扱いにあたっては、著作権侵害とならないよう十分に注意してください。

国内学会論文1998-00229-004

Vol. 85 No. 2

情報処理

Feb. 1994

ことであるという信念に基づいている。集積される知識は、知識ベース部品やソフトウェア部品のように情報内容を解釈して問題解決に役立てる解釈装置(インタプリタ)が存在するものから、自然言語テキストやマルチメディア部品のように情報内容が人間にしか意味をなさないものまでの広がりがある。また、情報内容に関しても基本的な認識の根幹をなすものから専門領域のノウハウまでの広がりがある。どのあたりの知識に重点を置いて収集するかはプロジェクトのねらいと目的に依存する。図-3に、実施中または計画中のプロジェクトを集積される知識の実行可能性と専門性によって分類したものを示す。

2.1 Cyc プロジェクト

Cyc プロジェクトは、全ての知識に共通する常識的知識を包括的に収集することをねらって、アメリカの MCC (Microelectronics and Computer technology Corp.) で1984年から10年計画で行われている^{22),23),49),41)}。目標は200人年をかけて400万項目を収集することである。すでに中間成果の配布が行われている。

知識ベースシステムの観点から言うと、Cycで収集する常識的知識は既存の知識ベースシステムで収集された狭い専門的知識と人間の知識の間を埋めるものであり、別々に開発された知識ベースシステムを結合して協調させるための意味的な糊(semantic glue)の機能を果たす。

知識の収集法に関しては、Cyclistと呼ばれる知識投入者が所定の知識源を理解してCycの知識表現で記述するという人手に基づくものである。これは、一定量の知識が集積されるまでは、機械学習や自然言語理解が有効に機能しないので、人による収集が不可避であるという認識に基づいている。プロジェクトの初期の段階では、百科事典が知識源として選ばれた。現在は、計算機科学、アパレル、法律、化学から知識の収集が行われているという。

Cycの知識ベースは、認識レベル(Epistemological Level, EL)とヒューリスティックレベル(Heuristic Level, HL)から構成される。ELは、Cycと外部ユーザ(コンピュータプログラムまた

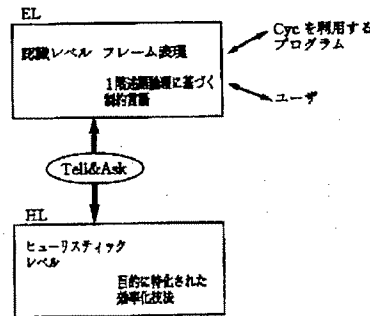


図-4 Cycの知識ベースの構成

```

residents
instanceOf: (Slot)
inverse: (residentsOf)
makesSenseFor: (GeopoliticalRegion)
entries: (Person)
specSlots: (lifelongResidents
            illegalAliens
            registeredVoters)
slotConstraints: ((coTemporal u v))
[ residents はスロットの一種である。 residentsOf は逆の関
  係を与えるスロットである。 GeopoliticalRegion タイプのユ
  ニットだけがこのスロットを持つことができる。 このスロット
  のエントリはふつう Person ユニットである。 X の lifelong-
  Residents スロット、 illegalAliens スロット、 または regi-
  steredVoters スロットのエントリは、また residents ユニッ
  トのエントリであると考えてよい。 s の residents ユニッ
  トのエントリが s であれば、ふつう s と s は同時代のものである。 ]
  
```

(a) フレーム型言語による "residents" (住民) の記述

```

(Implies
(LogAnd
(allInstanceOf E Buying)
(performedBy E X)
(objectInvolved E Y)
(seller E Z)
(holdsDuring Y cost N $0)
(occursIn E $0))
(LogAnd
(allInstanceOf (SkolemFunction (X Y Z) 'PAYING1) Paying)
(performedBy (SkolemFunction (X Y Z) 'PAYING1) X)
(objectInvolved (SkolemFunction (X Y Z) 'PAYING1) Z)
(amountGiven (SkolemFunction (X Y Z) 'PAYING1) N)
(subEvents E (SkolemFunction (X Y Z) 'PAYING1) X)))
  
```

全ての Buying (購入) のインスタンス E に対して、E の行為者を X、売り主を Z、コストを N とすると、E の部分イベントが存在し、その行為者は X、支払先は Z、金額は N である。

(b) 断片言語 CL による "Buying" (購入) の記述

図-5 EL の Cycl による "buying" の定義の例

は人間)のコミュニケーションのための知識表現のレベルであり、効率的な推論を行うために Cyc 内部で用いられる HL とは区別される。両者を対応づけるために Tell & Ask と呼ばれるトランスレータが用いられる(図-4)。

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
取扱いにあたっては、著作権保護等とならないよう十分にご注意ください。

国内学会論文1998-00229-004

Vol. 35 No. 2

大規模知識ベースシステム

Feb. 1994

Cycにおける知識を記述するための知識表現言語は CycL と呼ばれる。EL の CycL は、フレーム型の言語を1階述論理に基づく制約言語(CL)によって強化したものである。EL における知識の記述例を図-5 に示す。

CycL による大規模知識ベース構築作業と利用をサポートするために、継承、自動分類、知識の依存関係の管理、議論の生成・比較・撤回・矛盾解消を中心としたデフォルト推論、推論制御のためのメタレベル推論、制約処理、複数の特化された推論エンジンの管理などの豊富な推論機構と、スプレッドシート型のフレームエディタ UE、概念の空間的配置などを行うグラフィックエディタ MUE を中心としたインタフェースが開発された。

2.2 知識アーカイブ

コンピュータ上での実行可能性にかかわらず自然言語、形式言語、図形言語、画像、音響などのさまざまなメディアの知識を大量に集積した知識アーカイブの構築を目標とするプロジェクト化の努力が行われている^{13),14)}。公表されている情報によると知識アーカイブの知識はいくつかの層に階層化される。量的に中心を占めるとされるのは、知識メディアで表現され、分析の対象となるように整備された知識ドキュメントである。知識ドキュメントは、自然言語テキスト、知識部品・プログラム、データに分類される。知識ドキュメントを蓄積した知識ドキュメントベースの上に、構造化された知識の層が作られる。機能面では、知識アーカイブは知識の収集・獲得・検索・編集・応用などのサービスを提供する。

2.3 10⁴ プロジェクト, HTW プロジェクト

Cyc プロジェクトや知識アーカイブとは対照的に具体的な工学的問題解決に的を絞る、知識ベースシステムで直接利用可能な知識の収集と体系化を主要目標として設定している。これらのプロジェクトでは、知識ベースが基本的には対象モデルと問題解決法(たとえば、汎用診断エンジンや一般設計法)に分解できるというモデルに基づく推論(model-based reasoning)を基本パラダイムとし、モデルの記述と収集に重点が置かれている。

東京大学工学部における 10⁴ プロジェクト¹⁵⁾では、機構学における知識の体系化の試みとして、機構部品のモデルの集積を行っている。さまざま

な観点からのモデルを開通づけるためにメタモデル¹⁶⁾という手法が用いられている。メタモデルは図-6 のように物理世界に関する常識的概念に基づいて異なるモデルにおける概念間の関係付けを行うための機構である。メタモデル機構で使われる概念に関する記述を蓄積するための知識ベースは、フィジカルフィーチャデータベースと呼ばれる。フィジカルフィーチャの表現は定性プロセス理論^{17),18)}の枠組みを拡張したものであり、記号的なシミュレーションが可能である。10⁴ というプロジェクト名は、中間的な収集目標として設定したフィジカルフィーチャの個数を表している。

Stanford 大学知識システム研究所における HTW (How Things Work) プロジェクトでは、複数の領域にまたがる装置の設計と診断に必要な対象のモデルの構築、シミュレーションなどを支援する DME (Device Modeling Environment)^{19),20)}の研究が行われているが、ここでも対象のエンジニアリングモデルの収集が中心的な関心の一つになっている。

2.4 汎化概念, 汎化タスク

10⁴ プロジェクト, HTW プロジェクトと同様に専門性の高い知識に焦点を当てている。汎化タスク²¹⁾、汎化語彙^{22),23)}などが提案されている。

大阪大学産業科学研究所で行われている MULTIS プロジェクトでは、知識ベースシステム部品を記述するための語彙(オントロジ)の整理と体系化が行われている。オントロジはタスクオントロジとドメインオントロジに分類される。タスクオントロジは、問題解決法を記述するのに適した量(数十から数百語)と粒度をもつ語彙(とその背後にある概念)体系であり、ドメインオントロジは、問題解決の行われる領域(ドメイン)の対象や現象を記述するための語彙(とその背後にある概念)の体系である²⁴⁾。MULTIS プロジェクトでは、まずタスクオントロジが収集された²⁵⁾。

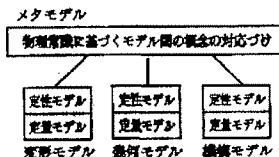


図-4 メタモデル機構

*オントロジに関する詳細については文献 26) 参照

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
 取扱いにあたっては、著作権侵害とならないよう十分にご注意ください。 国内学会論文1998-00229-004

Vol. 35 No. 2

情報処理

Feb. 1994

タスクオントロジは、汎化語彙（汎化名詞と汎化動詞）によって記述される。汎化語彙は専門分野の違いを超えて共通する問題解決法を記述するためのものである。

インタビューによる知識獲得システムでは専門家が自分の専門領域の語彙と汎化語彙との対応を取ることによって、専門的問題解決知識の事例化、再利用、自集合成が行われる。汎化語彙はコンピュータ向きの知識と人間の知識の対応づけに大きな役割を果たすことが期待される。これまでに、汎化語彙を用いてスケジューリングタスクに関する問題解決知識の収集が行われている。

より一般的には、オントロジとは対象領域に存在する対象やその間の関係に関する概念化（conceptualization）とそれを表現するための断片（terminology）を露に規定したものである*。知識ベースにおけるオントロジのタイプと役割を図-7に示す。以下で述べるように、オントロジを露に扱うことは共有・再利用指向のアプローチでも非常に重要になる。

2.5 応用

集積指向のアプローチでは、目的を限定せずには集積することが重要であるというシーズ指向のアプローチであるので、具体的な応用はある程度の集積が行われてからになる。大規模知識ベースシステムの提供する情報のインフラストラクチャの存在は、知識ベースシステムばかりでなく本質的に知識を必要とする自然言語処理システムやCAIシステムの有用な知識源となる。反面、使用目的を明確にせずに収集した知識を実際の応用システムで利用できるまでにするにはかなりの労力を要することが懸念される。

2. 共有・再利用指向のアプローチ

共有・再利用指向のアプローチでは、大規模知識ベースシステムを露に結合されたエージェントの集まりとして実現する方向をめざしている。ここでいうエージェントとは、所定のプロトコルに基づくメッセージ交換によって外部のプログラムと通信し、一定の情報処理能力を提供するソフト

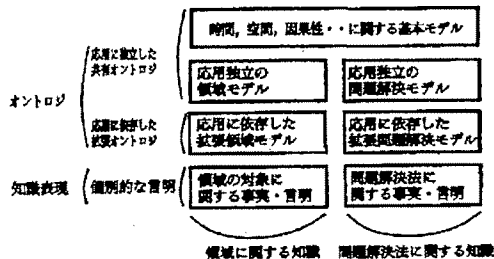


図-7 知識ベースにおけるオントロジの役割

ウェアモジュールを指し、ふつう知識ベースシステム、データベースシステム、ソフトウェアツールなどのツールにメッセージ処理をするモジュールをかぶせてカプセル化することによって実現される。

個々のエージェントは内部のツールにおいて、問題解決に最も適した方法論、ツール、インプリメンテーション技術を用いることを容認するかわりに、エージェント間の情報交換のプロトコル（通信規約）、対象記述言語、概念・語彙体系を共通化して、エージェント間の秩序ある相互作用を保証する。エージェント間の相互作用は、協調促進器（facilitator）などによって媒介・支援される。

このような考え方に基づく本格的な実験システム構築は PACT プロジェクト²⁾ではじめて行われた。図-8に PACT プロジェクトで用いられたアーキテクチャを示す。各ツールはエージェント管理とメッセージ交換のためのソフトウェアを付加してエージェント化（agentify）される。PACTでは、エージェント間の相互作用は必ず協調促進器を介して行われる。つまり、メッセージはエー

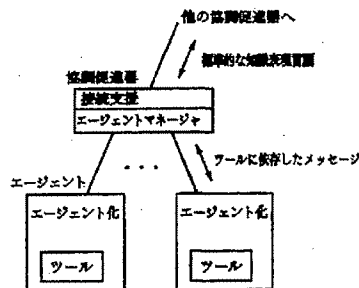


図-8 PACT アーキテクチャ

*もともと哲学用語であり、存在（existence）の体系的な取扱いを意味する。

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
取扱いにあたっては、著作権保護者とならないよう十分にご注意ください。

国内学会論文1998-00229-004

Vol. 35 No. 2

大規模知識ベースシステム

Feb. 1994

ジェント-協調促進器の間、または協調促進器どうしの間で送受される。エージェントからのメッセージには必ずしも宛先が明記されている必要はない。また、エージェントは PACT 全体に共通するメッセージの生成・解析を行う必要はなく、ツールに依存したメッセージだけを扱えばよい。協調促進器の果たす役割は、

1. エージェントから発信されたメッセージ内容を解析して宛先を決定する。
2. エージェントの取り扱うツール依存のメッセージ表現と共通言語によるメッセージ表現の間の相互変換を行う。
3. エージェントの初期化や実行のモニタリングを行う。

ただし、PACT の協調促進器に実際に実現されたのはこれらのうちの一部だけであり、より強力な協調促進器の開発は将来の課題である。

メッセージ内容は次の3レベルで標準化される。

エージェント通信言語 (agent communication language) エージェントに共通した通信規約 (共通プロトコル) を規定する。

知識交換フォーマット (knowledge interchange format) インプリメンテーションから独立した (知識レベル*) の情報表現。

共通オントロジ (common ontology) 概念とそれを記述する語彙の体系。

PACT プロジェクトでは、エージェント通信言語として KQML、知識交換フォーマットとして KIF、共通オントロジとして Ontolingua が用いられた**。

この方式には、

1. 従来の知識ベースシステムで課題とされていた既存システムとの統合の問題への本格的な解決の方向が示され、知識工学ばかりでなく、情報科学全体へのインパクトとなりえる。原理的には集積指向の大規模知識ベースシステムも一つのエージェントとして組み込まれる。

2. 既存のツールを組み込むためには、内部を修正する必要はなく、ツールの入出力を共通言語に相互変換するトランスレータを開発するだけで

よい。

3. 問題解決のための単一の知識表現言語を要求されないで、従来問題とされてきた表現力と推論可能性のトレードオフが問題にならなくなる。知識ベースシステム間の共通言語はもはや問題解決を行うためのものではないので、単に表現力さえあればよい。

4. 協調のための機構は、エージェント収束のための枠組みとしても有効であり、エージェントの個数が十分でないときでも有用である。

5. 方式が、分散型計算環境と多人数による並列開発という現実によく適合している。などの特色がある。

この方向の研究は、AAAI の知識共有と再利用のための作業部会²¹⁾、デジタル図書館²²⁾、知識コミュニティプロジェクト²³⁾、²⁴⁾などで行われている。また、具体的な応用への適用は上に述べた PACT プロジェクトのほかでは、DICE プロジェクト²⁵⁾などで行われている。

共有・再利用指向のアプローチにおける中心的な技術は、エージェント通信言語、知識交換フォーマット、共通オントロジである。この章の以下の部分では、これらの側面について掘り下げてみよう。

3.1 エージェント通信言語

ちょうど自然言語の発話が発話行為 (伝達、質問、依頼、...) と発話内容 (伝達内容、質問内容、依頼内容、...) に分解できるように、エージェント間で取り交わされるメッセージは、メッセージのタイプを規定するメッセージ行為 (performative) とメッセージ内容 (contents) に分解することができる。エージェント通信言語はメッセージ行為のタイプとプロトコルを規定する。

人工知能分野では、分散情報処理環境におけるエージェント間の相互作用のためのプロトコルの研究は分散人工知能 (Distributed AI)¹⁾ における人間社会における相互作用の計算モデル化の研究として行われている。これまで、入札に基づく契約の行為をモデル化した契約ネット²⁶⁾、日常の約束行為をモデル化した Agent 0 のプロトコル²⁷⁾、グループにおける合意形成過程をモデル化した COSMO²⁸⁾、意図と知覚を中心としたもの²⁹⁾、³⁰⁾などが提案されている。

KQML (Knowledge Query and Manipulation

* インプリメンテーションに依存した情報表現はシンボルレベルの表現と呼ばれる。

** 詳細は、3.1-4.3 で述べる。

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
 取扱にあたっては、著作権侵害とならないよう十分にご注意ください。

国内学会論文1998-00229-004

Vol. 35 No. 2

情報処理

Feb. 1994

Language)¹²⁾ は、知識ベース間の知識レベルでの相互作用のための言語として設計されたものであり、エージェントでのメッセージ送受の方法を規定するのではなく、個々のメッセージの意味内容を定義する。KQML では、メッセージは次のような Common Lisp におけるキーワード構文を用いて表現される。

《(メッセージ行為タイプ)

《(空白): (キーワード) (空白): (Lisp の S 式)》¹³⁾

たとえば、

```
(tell :language KIF
      :ontology motors
      :in-reply-to q1
      :content (fastens frame12 motor1))
```

は、メッセージ内容記述言語として KIF、オントロジとして *motors*、メッセージ内容として (*fastens frame12 motor1*) をもつメッセージを表している。

現在までに、情報伝達 (*tell*, *deny*, *untell*)、質問 (*ask-if*, *ask-all*, *stream-all*, *reply*, *sorry* など)、依頼 (*achieve*, *unachieve* など)、生成器関係 (*stand-by*, *ready*, *next*, *discard* など)、通知 (*subscribe*, *monitor*)、ネットワーク処理 (*register*, *unregister* など)、仲介処理 (*broker-one*, *recommend-one*, *recruit-one* など) などのための 30 種類余りのタイプのメッセージ行為が定義されている。ユーザは新しいメッセージ行為を所定の形式で定義することによって与えられたメッセージ行為集合を拡張することができる。

エージェントポリシー (*agent policy*) は、エージェントが受け取ったメッセージをどのような態度で処理するかを規定する。多くの応用においてエージェントポリシーは次のようなものである。

(1) 正直さ (*honesty*): KQML で規定された意味論に基づいてメッセージ処理を行う。(2) だまされやすさ (*gullibility*): ほかのエージェントも自分と同じ信念をもつと信じて処理を行う。(3) 親切さ (*helpfulness*): ほかのエージェントも自分と同じ目標をもつと信じて処理を行う。(4) 責任 (*responsiveness*): 応答が期待されているメッセージ行為にはいつか必ず応答する。(5) 感情移入 (*empathy*): ほかのエージェントが必要とするメッセージ行為を明示されなくても推し量ることが

できる。(6) 適切性 (*pertinence*): ほかのエージェントの役に立たないと考えられるメッセージは送付しない。

3.2 知識交換フォーマット

知識交換フォーマットは、異なる問題解決用知識表現言語で記述されたツールを包含したエージェント間で知識交換を行うための中間言語としての役割を果たす。一般に、知識交換フォーマットが有用であるための要件は、(1) 表現力が豊かであり、インプリメンテーションに独立した知識レベルでメッセージ内容を記述できる、(2) 構文と意味が厳密に定義され、それに関して詳細な合意が得られる、(3) 自己拡張性がある、などであると考えられる。

KIF (Knowledge Interchange Format)¹⁴⁾ は、1 階述語論理を拡張して、項の定義、メタ知識 (知識に関する知識)、集合、非単調理論などを記述できるようにした知識交換フォーマットである。たとえば、「全ての作家は読者のうちのどれかから誤解を受ける」を表す KIF 表現は次のようなものになる。

```
(forall ?w
  (=) (writer ?W)
  (exists ?R)
  (and (reads ?R ?W)
       (not (understands ?R ?W))))
```

KIF を厳密に定義するために、モデル理論による意味論が与えられている。

KIF は宣言的な言語であるため変換時に手続き的な情報が失われてしまうことがある。

3.3 共通オントロジ

異なるエージェント間で協調的な問題解決が行われるためには、メッセージ交換に用いる言語の構文・意味だけでなく、オントロジに関してもエージェント設計者とエージェントそのものの両方において合意が得られていなければならない。

Ontolingua は、異なる知識表現ツールに基づくエージェントの間に共通のオントロジを定義することによる知識の共有の促進をねらったものである^{11), 12), 13)}。対象領域に現れる対象のクラス、関係、関数、オブジェクト、法則を記述するためには、KIF を拡張した構文と意味論に基づく宣言的な表現を用いる。Ontolingua はフレーム型の概念化 (フレームオントロジ) をサポートするために、

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
取扱にあたっては、著作権侵害とならないよう十分にご注意ください。

国内学会論文1998-00229-004

Vol. 38 No. 2

大規模知識ベースシステム

Feb. 1994

数十個の2階の述語を提供している。

図-9に Ontolingua による概念定義の例 (「(文献の) 著者」の概念定義) を示す。ここでは、

value-cardinality:

<?domain-instance,

?binary-relation) → ?n

value-type:

<?domain-instance, ?binary-relation,

?class) → F/T

がフレームオントロジとして提供された2階の関数、述語であり、それぞれ対象

?domain-instance が2項関係 ?binary-relation によって対応づけられる対象の個数とタイプを表す。

このようにして定義される概念体系を異なる知識表現言語に変換するトランスレータが開発されている。文献 12) によるとこれまでに LOOM, Epikit, Algernon, pure KIF へのトランスレータが開発されている。また、CycL, KEE, EXPRESS などへのトランスレータの開発も容易であろうという見通しが得られている。たとえば、図-9 の定義の述語論理系の言語 Epikit への変換は図-10 のようになる。ただし、このような変換は限られたものであり、あらゆる変換が可能というわけではない。

共通オントロジに関する研究ははじまったばかりであり、(1)オントロジをどのように設計するか、(2)オントロジに関する合意をどのようにして形成するか、(3)オントロジ間の整合性をどのようにして吟味するか、(4)異なるオントロジの間の対応付けをどのように行うか、など、多くの興味ある課題が残されている。

3.4 応用システムでの利用

共有・再利用指向のアプローチはコンカレントエンジニアリング⁹⁾とも密接な関係があり、領域指向の効率的な情報交換方式の基盤を与えるものとなる。

PACT (Palo Alto Collaborative Testbed)¹⁰⁾ は、複数のサイト、分野、サブシステムに分布するツールを協調させて大規模な設計作業を分散して並列に進めていくときに生じる技術的・社会的な課題について調査するための実験環境である。これまで、

NVimage スプレッドシート型の設計開発をサ

```
(define-class AUTHOR (?author)
  "An author is a person who writes things.
  An author must have created at least one document.
  In this ontology, an author is known by his or her real name."
  :def (and (person ?author)
    (= (value-cardinality ?author author .name) 1)
    (value-type ?author author .name biblio-name)
    (= (value-cardinality ?author author .documents) 1)
    ((= (author .name ?author ?name)
      (person .name ?author ?name))))
  ?author が著者であるとは、?author が person であり、関係 author
  .name で規定されるちょうど一つの対象が存在し、それはクラス biblio-
  name のインスタンスでなければならず、author .documents で関係
  づけられる少なくとも1個の対象が存在し、author .name という関係
  と person .name という関係が両方であることである。
```

図-9 Ontolingua による概念定義の例

```
(=) (author $author) person $author))
(=) (author $author)
(exists $y (author .name $author $y) (biblio-name $y)))
(=) (author $author)
(=) (author .name $author $y)
(author .name $author $y2)
(= $y $y2)))
(=) (author $author)
(exists $y (author .documents $author $y)))
(=) (author $author)
((=) (author .name $author $name)
(person .name $author $name)))
```

図-10 図-9 の定義の述語論理系の知識表現言語への変換

ポートするエンジニアリングツールの協調の枠組み、設計変更があると分散するツールに伝達される。

DME デバイスモデルとシミュレーションのためのツール

Next-Cut 機械設計とプロセスプランニングシステム

Designworld デジタル回路の設計、シミュレーション、組立、検査のためのシステム¹⁰⁾。Designworld 自体もエージェントと協調促進器から構成されている。

をトップレベルエージェントとして参加させ、簡単なマニピュレータの設計を行う実験を行った。上の4つのソフトウェアははじめからほかのシステムと相互作用するように設計されたものではなく、既存のツールをエージェント化して協調させるための恰好の実験環境となった。

PACT プロジェクトは 1991 年に開始された。エージェント通信言語には KQML。知識表現フォーマットには KIF が用いられた。15 台のワークステーション上で稼働する 31 個のエージェントによる分散設計と分散シミュレーションの実験

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
取扱いにあたっては、著作権侵害とならないよう十分にご注意ください。

国内学会論文1998-00229-004

Vol. 36 No. 2

情 報 処 理

Feb. 1994

が行われた。

人間とコンピュータが協調して作業をする現実の環境をみると、コンピュータ上での問題解決用の知識と人間の専門家が理解する知識を知識メディア¹⁰⁾として統一的に扱う必要がある。分散した設計環境における知識メディアの利用をサポートする表現の枠組みとして SHADE (SHARED Dependency Engineering)¹¹⁾の研究が進められつつある。SHADEの提案された背景には共通オントロジー知識表現は重要であるが、現在の技術レベルでは共有すべき情報を不完全にしか規定できないという困難である。記述が不完全であっても、メッセージに一定の記述子を与え、予約購読(subscription)、刊行(publication)などのサービスを行うことによって十分な有用性が確保できるという主張がされている。知識メディアの研究は、CSCWと分散問題解決を統合するアプローチとして今後の発展が期待される。

4. ま と め

大規模知識ベースシステムの研究開発の動向について集積指向のアプローチと共有・再利用指向のアプローチに分けて解説した。現在の人工知能技術をはじめとする情報処理技術全体の大きな発展をみるために、大規模知識ベースシステムによる知識インフラストラクチャの開発が期待される。今後は、大規模知識ベースシステムのライフサイクルを考慮した開発方法論の展開が必要になるであろう。

参 考 文 献

- 1) Bond and Gasser, editors: *Readings in Distributed Artificial Intelligence*, Morgan-Kaufmann Publishers, INC (1988).
- 2) Burmeister, B., Haddadi, A. and Sundermeyer, K.: Generic Configurable Cooperation Protocols for Multi-Agent Systems (personal communication) (1993).
- 3) Burmeister, B. and Sundermeyer, K.: Cooperative Problem-Solving Guided by Intentions and Perception, In *Proceedings of MAAMAW-91* (1991).
- 4) Chandrasekaran, B.: Generic Tasks in Knowledge-Based Reasoning, *IEEE Experts*, pp. 23-30 (1986).
- 5) Cutkosky, M.R., Englemore, R.S., Fikes, R.E., Genesereth, M.R., Gruber, T.R., Mark, W.S., Tenenbaum, J.M. and Weber, J.C.: PACT: An Experiment in Integrating Concurrent Engineer-

- ing Systems, *IEEE Computer*, Vol. January 1993, pp. 28-38 (1993).
- 6) Dewan, P.: Toward Computer-Supported Concurrent Software Engineering, *IEEE Computer*, Vol. January 1993, pp. 17-27 (1993).
- 7) Feigenbaum, E.A.: The Art of Artificial Intelligence: I. Themes and Case Studies of Knowledge Engineering, In *Proceedings of IJCAI-77*, pp. 1014-1029 (1977).
- 8) Finin, T., Weber, J., Wiederhold, G., Genesereth, M., Fritsson, R., McKay, D., McGuire, J., Pelavin, R., Shapiro, S. and Beck, C.: Specification of the KQML Agent-Communication Language (DRAFT) (1993).
- 9) Forbus, K.D.: Qualitative Process Theory, *Artificial Intelligence*, Vol. 24, pp. 85-188 (1984).
- 10) Genesereth, M.R. and Fikes, R.: Knowledge Interchange Format Version 2.2 Reference Manual, Technical Report Logic-90-4, Computer Science Department, Stanford University (1990).
- 11) Gruber, T.R.: Ontolingua: A Mechanism to Support Portable Ontologies Version 3.0, Technical report, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University (1992).
- 12) Gruber, T.R.: A Translation Approach to Portable Ontology Specifications, In Misoguchi, R., Motoda, H., Boone, J., Gaines B. and Quinlan, R., editors, *Proceedings of the Second Japanese Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop JKAWS '92*, pp. 89-108 (1992).
- 13) Gruber, T.R.: Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing, Technical Report KSL 93-4, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University (1993).
- 14) Gruber, T.R., Tenenbaum, J.M. and Weber, J.C.: Toward a Knowledge Medium for Collaborative Product Development, In *Artificial Intelligence in Design '92, Proceedings of the Second International Conference on Artificial Intelligence in Design*, pp. 413-432 (1992).
- 15) 原田道明, 三木清一, 藤田純治, 西田豊明, 倉下修司: マルチエージェントによる異種知識の統合, Technical Report SIG-F/H/K/S/I-9201-5 (12/4), 人工知能学会 (1992).
- 16) Huyn, P.N., Genesereth, M.R. and Letsinger, R.: Automated Concurrent Engineering in Designworld, *IEEE Computer*, Vol. January 1993, pp. 74-76 (1993).
- 17) 日経 AI (編): エキスパートシステム最新統一統合化への加速, 日経 BP 社 (1992) 別冊.
- 18) 岩崎由美: 定性推論の応用に関する屢論, 情報処理, Vol. 32, No. 2, pp. 163-170 (Feb. 1991).
- 19) Iwasaki, Y. and Low, C.: Model Generation and Simulation of Device Behavior with Continuous and Discrete Changes, Technical Report KSL-91-69, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University (1991).
- 20) Kahn, R.E. and Cerf, V.G.: The Digital Libr-

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
取扱いにあたっては、著作権保護としないよう十分にご注意ください。

国内学会論文1998-00229-004

Vol. 35 No. 2

大規模知識ベースシステム

Feb. 1994

- ary Project, volume 1: The World of Knowbots (DRAFT), Technical report, Corporation for National Research Initiatives (1988).
- 21) 桐山孝司, 富山哲男, 吉川弘之: 設計対象モデル統合のためのメタモデルの研究. 人工知能学会誌, Vol. 6, No. 3, pp. 426-434 (1991).
 - 22) Lenat, D. B.: Toward Programs with Common Sense, CACM, Vol. 33, No. 8, pp. 38-49 (1990).
 - 23) Lenat, D. B. and Guha, R. V.: *Building Large Knowledge-Based Systems*, Addison-Wesley (1989).
 - 24) 松本幹雄, 川合 隆, 中田秀基, 山本文雄, 富山哲男, 吉川弘之: 設計向き大規模知識ベースの研究. 1991年度人工知能学会全国大会 (第5回) 論文集, pp. 717-720 (1991).
 - 25) 溝口理一郎: エキスパートシステム I~II, 朝倉 AI ライブラリ (1993).
 - 26) 溝口理一郎, 元田 浩, 西田豊明: 知識の共有と再利用ワークショップ報告, 人工知能学会誌 (1993).
 - 27) Minoguchi, R.: Task Ontology and Its Use in a Task Analysis Interview System, In *Proceedings of JKAU '92* (1992).
 - 28) 溝口理一郎, 小川 均, 小島昌一, 通藤勝一, 益田 亮, 長橋一彦, 増井庄一, 坂間千秋: 知識の再利用を目指したタスク分析とタスクオートロジーの整備. Technical Report SIG-F/H/K/S/I-9201-6 (12/4), 人工知能学会 (1992).
 - 29) 中村祐一, 堀 雅洋: 知識ベースシステム構築のための問題解決部品の同一タスクの性質を反映した部品空間について, Technical Report 研究会資料 AL-91-68, 電子情報通信学会 (1992).
 - 30) Neches, R., Fikes, R., Finin, T., Gruber, T., Patil, R., Sensor, T. and Swartout, W. R.: Enabling Technology for Knowledge Sharing, *AI Magazine*, Vol. 12, No. 3, pp. 36-56 (1991).
 - 31) 日本システム開発研究所 (編): 知識アーカイブ研究開発計画, Technical report, 機械製鋼協会・経済研究所 (1992).
 - 32) 西田豊明: 知識コミュニティ, 北野宏明 (編), グランドチャレンジー人工知能の大いなる挑戦一, 共立出版 (1993).
 - 33) 西田豊明: 定性推論の諸相, 朝倉書店 (1993).
 - 34) 大須賀節雄: AI マップーAI 研究のあり方, 人工知能学会誌, Vol. 7, No. 5, pp. 795-809 (1992).
 - 35) Shoham, Y.: AGENT 0: A Simple Agent Language and Its Interpretation, In *Proceedings, AAAI-91*, pp. 704-709 (1991).
 - 36) Smith, R. G.: The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver, *IEEE Trans. on Computers* Vol. 28, No. 12, pp. 1104-1113 (1980).
 - 37) Sriram, D. and Logcher, R.: The MIT Dice Project, *IEEE Computer*, Vol. January 1983, pp. 64-65 (1983).
 - 38) Stefik, M.: The Next Knowledge Medium, *AI Magazine*, Vol. 7, No. 1, pp. 34-46 (1986).
 - 39) 日経インテリジェントシステム (編): 特集ー進化する知識ベースシステム, 日経 BP 社 (1992) 別冊 1992 年秋号.
 - 40) 寺野隆雄: Cyc 大規模知識ベースー知識への第1歩か? 非常識な計画か?, コンピュータ科学, Vol. 1, No. 2, pp. 114-118 (1991).
 - 41) 寺野隆雄: 大規模知識ベース技術の動向と課題. 1992年度人工知能学会全国大会チュートリアル講演テキスト, pp. C13-C27 (1992).
 - 42) 寺野隆雄: 知識システム開発方法論, 朝倉書店 (1993).
 - 43) Wong, S. T. C.: Messages and Protocols for Cooperative Systems Communications, (in: *Proc. MACC '92*) (1993).
 - 44) 横井俊夫: 知識処理と自然言語処理の融合としての大規模知識ベースー電子化辞書から知識アーカイブへ, 人工知能学会誌, Vol. 8, No. 3, pp. 286-296 (1993).

(平成5年6月14日受付)



西田 豊明 (正会員)

1954年生. 1977年京都大学工学部情報工学科卒業. 1979年同大学院修士課程修了. 1980年同大学院博士課程退学. 同年より, 京都大学工学部助手. 1988年6月助教授. 1993年4月奈良先端科学技術大学院大学教授. 人工知能基礎, 特に定性推論と大規模知識ベースの研究に従事. 京都大学工学博士. 1984年から1年間 Yale 大学客員研究員. 1988, 89年人工知能学会全国大会優秀論文賞. 1988年度人工知能学会論文賞, 1990年情報処理学会創立30周年記念論文賞. 著書「自然言語処理入門」(オーム社), 「定性推論の諸相」(朝倉書店)等. 人工知能学会, 認知科学会, 日本ソフトウェア科学会, 電子情報通信学会, AAAI, ACL各会員. 人工知能学会人工知能基礎論研究会主宰. 電子情報通信学会英文誌編集委員.